

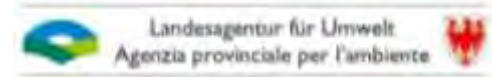


Workshop

Incenerimento e qualità dell'aria

Lunedì 24.10.2011

Sala rappresentanza Municipio Bolzano, vicolo Gumer



# EMISSIONI DI POLVERI ULTRAFINI DA INCENERITORI



**LUCA STABILE**

[l.stabile@unicas.it](mailto:l.stabile@unicas.it)



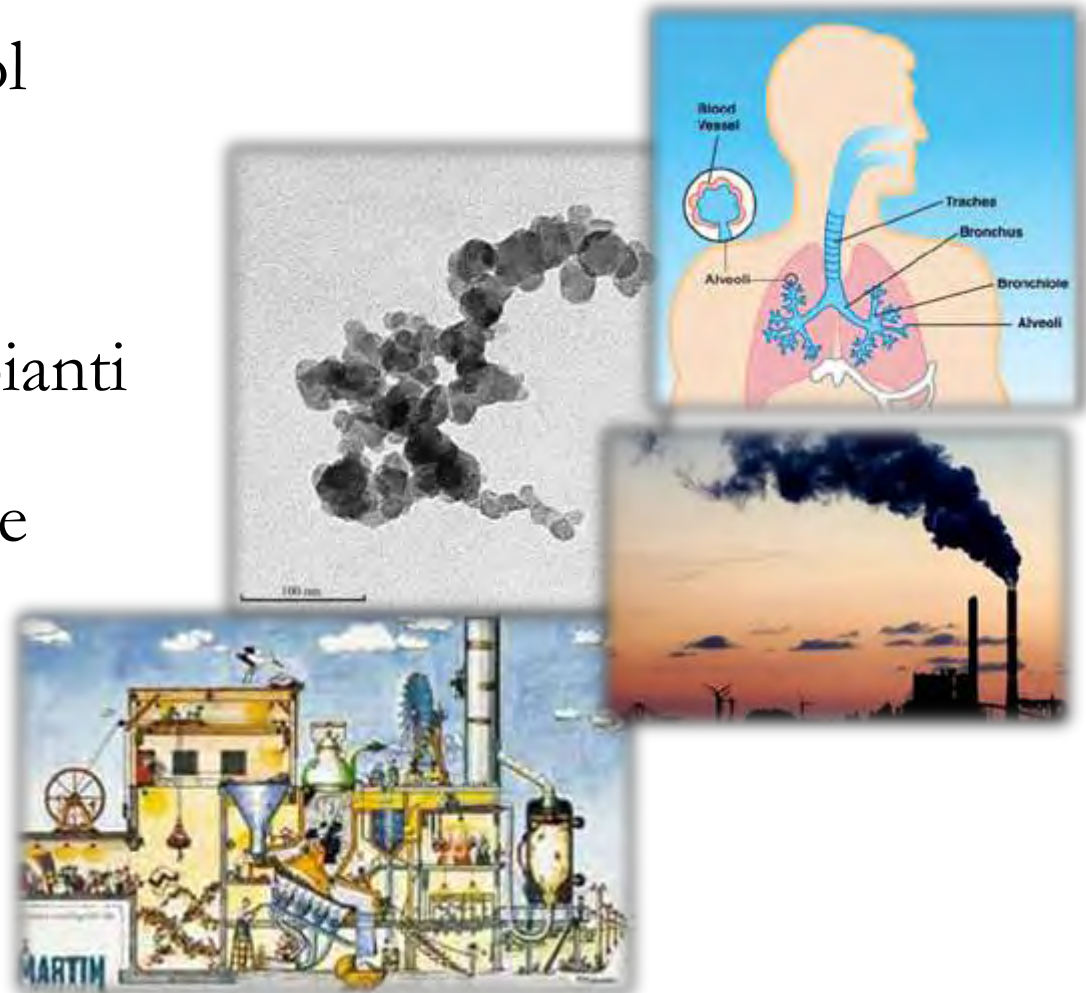
DiMSAT – Università di Cassino  
via G. Di Biasio, 43 – 03043, Cassino (FR)

24 Ottobre 2011 – Sala rappresentanza Municipio di Bolzano

Sessione mattutina: Qualità dell'aria

# SOMMARIO

- Introduzione: l'aerosol
- Obiettivi del lavoro
- Descrizione degli impianti
- Apparato sperimentale
- Risultati
- Conclusioni



# INTRODUZIONE: definizioni

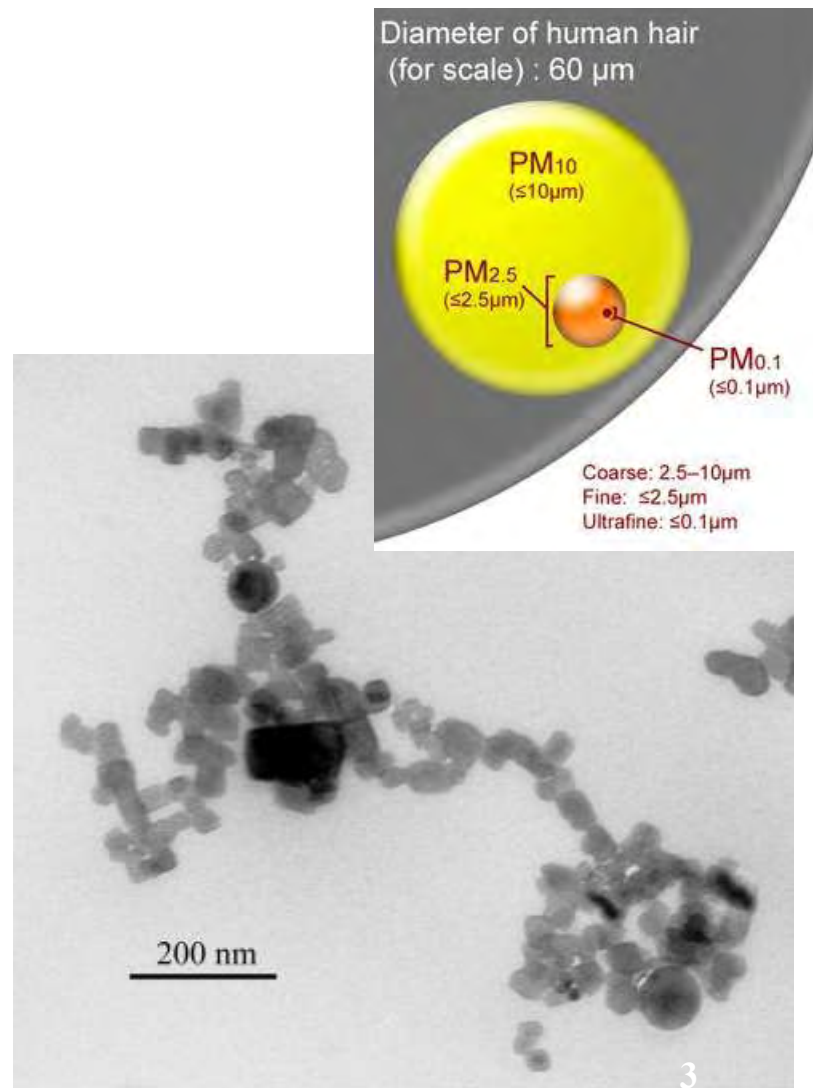
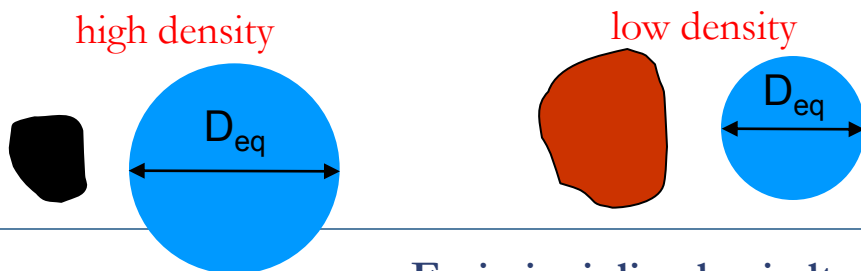
- Aerosol

*sospensione metastabile di particelle solide e liquide in un gas.*

- Classificazione dimensionale

- $PM_{10}$   $D_{eq} < 10 \mu m$
- Polveri grossolane ( $PM_{2.5-10}$ )  $2.5 \mu m < D_{eq} < 10 \mu m$
- Polveri fini ( $PM_{2.5}$ )  $D_{eq} < 2.5 \mu m$
- Polveri Ultrafini (UFPs)  $D_{eq} < 0.1 \mu m$  (100 nm)
- Nanoparticelle  $D_{eq} < 0.050 \mu m$  (50 nm)

- Diametro aerodinamico equivalente

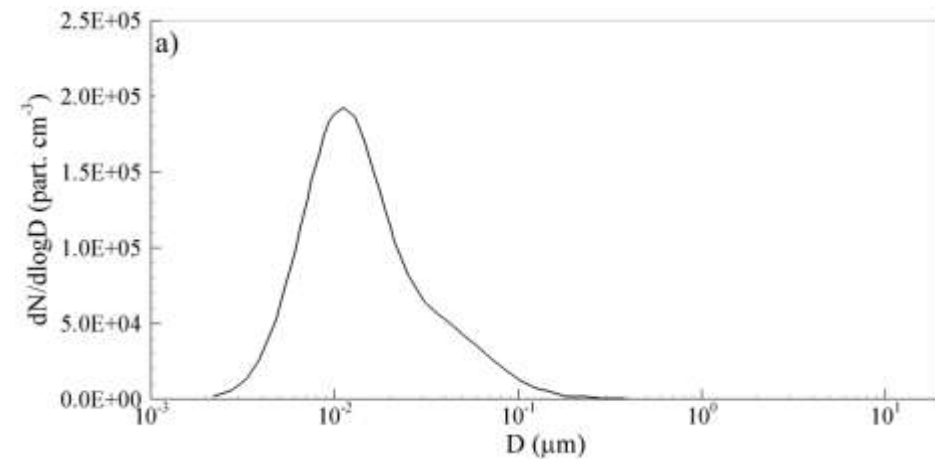


Emissioni di polveri ultrafini da inceneritori

Luca Stabile - l.stabile@unicas.it

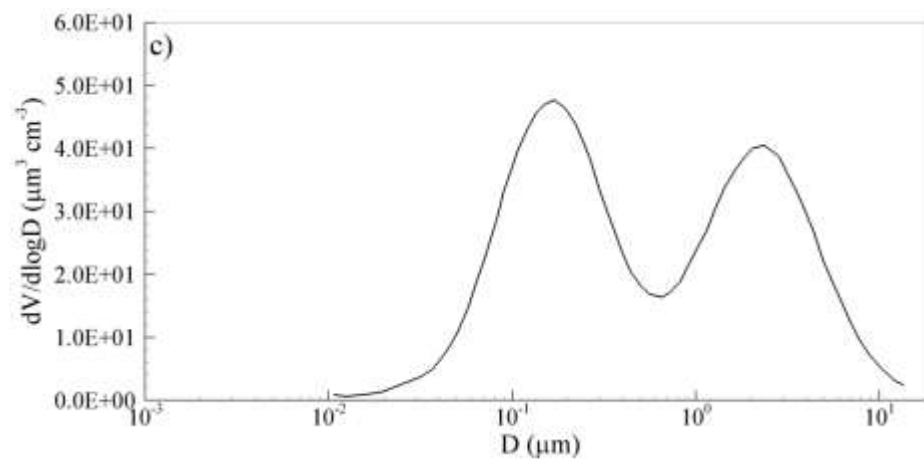
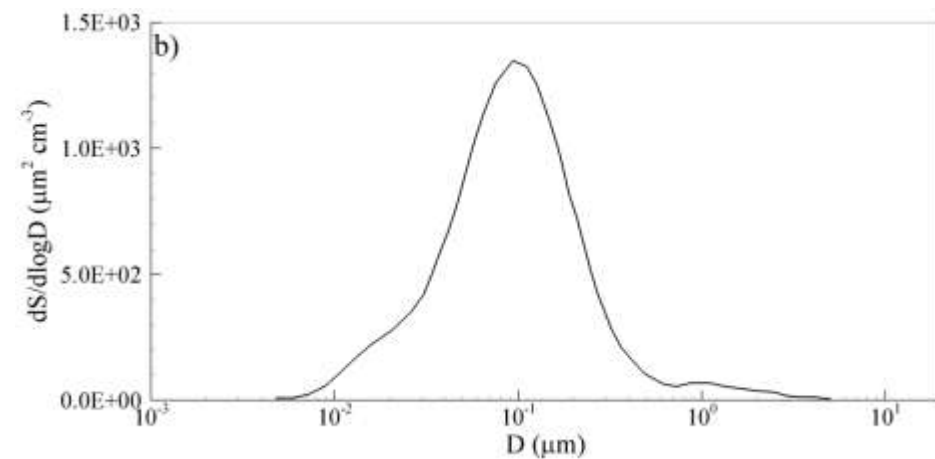


# INTRODUZIONE: distribuzioni



Es. Distribuzioni in numero (a), area superficiale (b) e volume (c) di un aerosol urbano

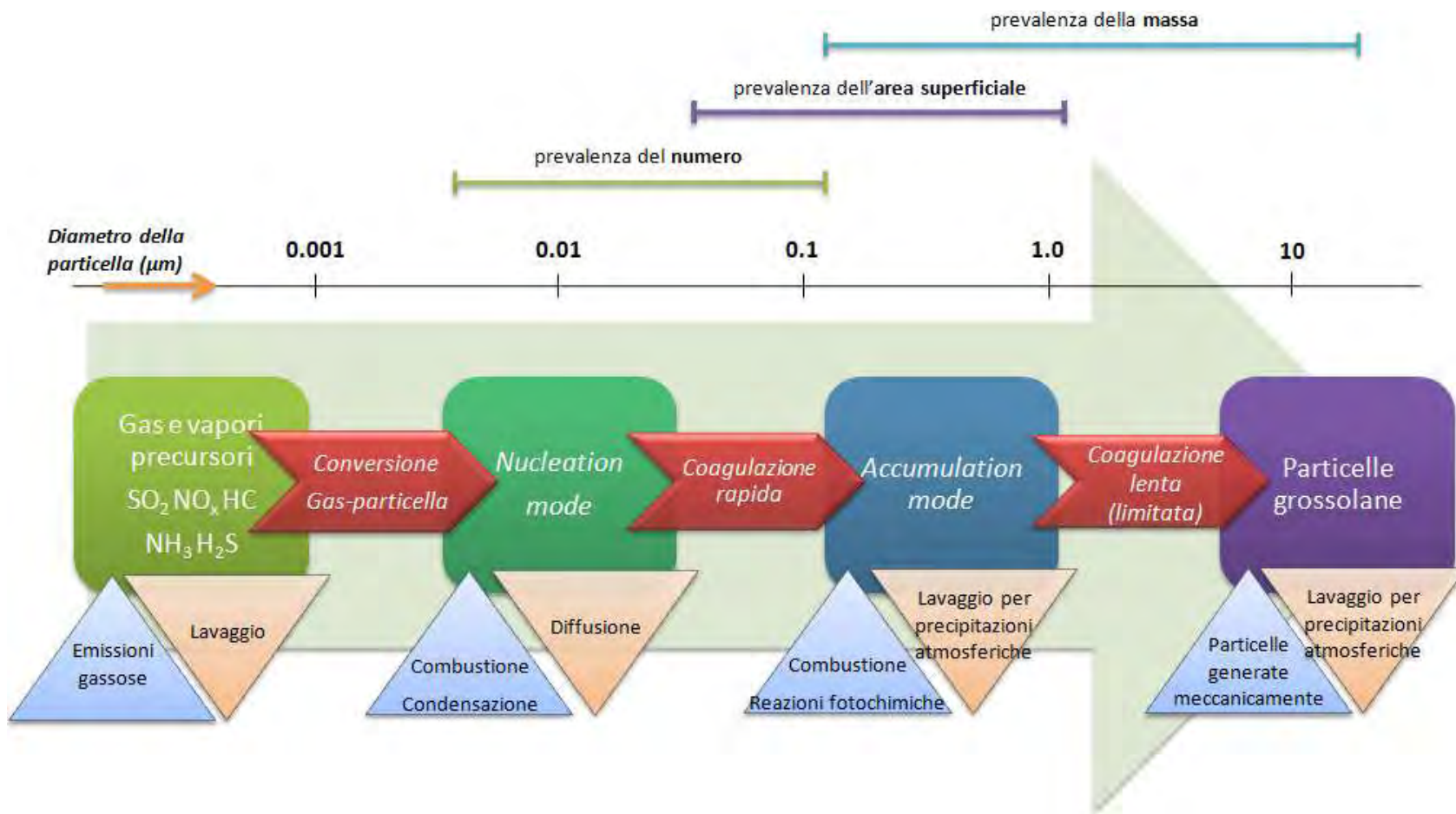
(*Seinfeld and Pandis, 2006*).





# INTRODUZIONE: termodinamica

- Trasformazioni termodinamiche delle particelle di aerosol dalla formazione alla deposizione

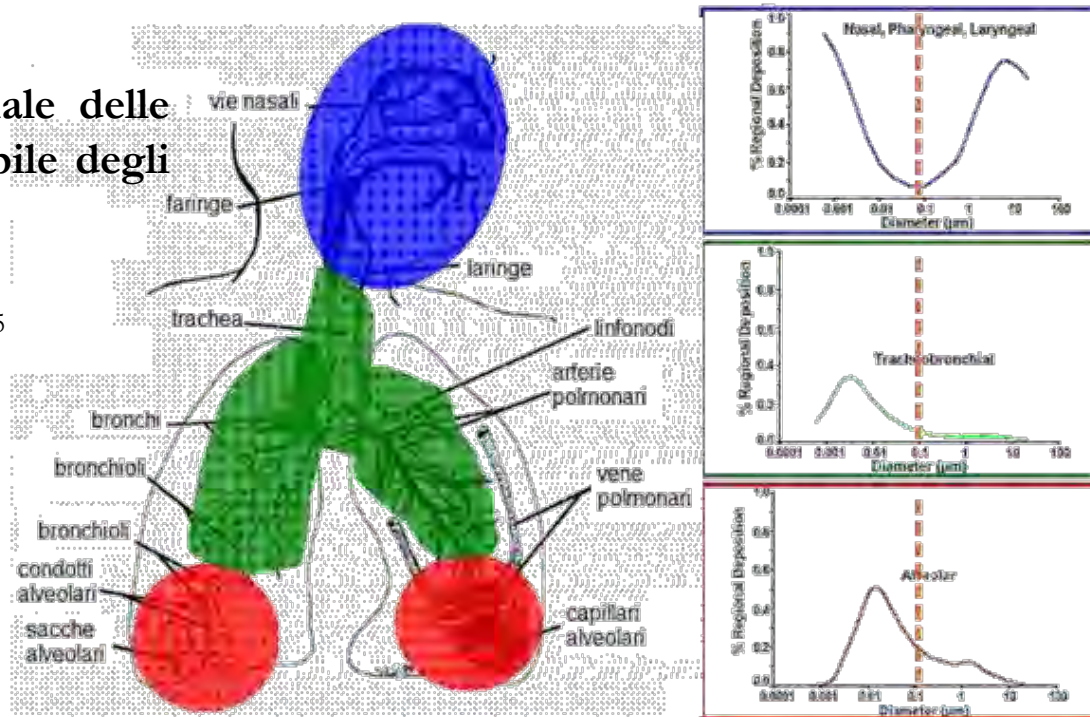


# INTRODUZIONE: effetti sulla salute

- Diversi studi epidemiologici hanno dimostrato effetti negativi sulla salute umana (problemi cardiovascolari e respiratori...) dovuti ad una elevata esposizione alle polveri:
  - Pope, C.A., Dockery, D.W., 2006. *Health effects of fine particulate air pollution: lines that connect*. *Journal of the Air & Waste Management Association* 56, 709-742;
  - Kreyling, W.G., Semmler-Behnke, M., Moller, W., 2006. *Health implications of nanoparticles*. *Journal of Nanoparticle Research* 8, 543–562.

Quale proprietà o taglia dimensionale delle particelle è maggiormente responsabile degli effetti negativi sulla salute umana?

- Concentrazioni in massa:  $PM_{10}$  –  $PM_{2.5}$
- Concentrazioni in numero: UFP
- Concentrazioni in area superficiale
- Tasso di assunzione
- ...
- Nucleo carbonioso (*black carbon*)
- Composti organici volatili (*VOCs*)



Emissioni di polveri ultrafini da inceneritori

Luca Stabile - l.stabile@unicas.it

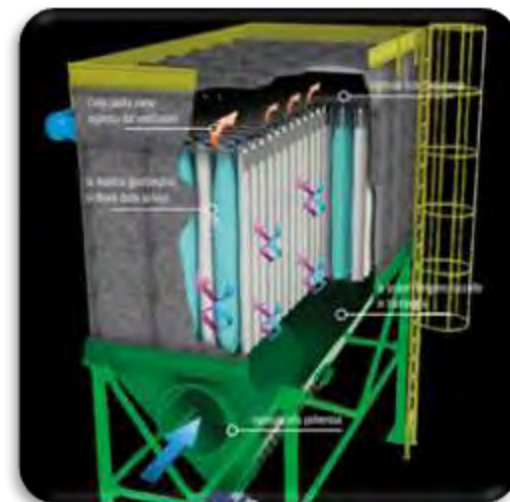


# PROBLEMATICA ED OBIETTIVI DEL LAVORO

- L'incenerimento nella gestione dei rifiuti;
- l'incenerimento come sorgente di aerosol;
- limiti di legge per l'emissione da inceneritori: le Polveri Totali (Direttiva 2010/75/EU)
- UFPs e Not In My Backyard (NIMBY).
- **la necessità di caratterizzare le emissioni di UFPs**

## Obiettivi del lavoro:

- Misura della distribuzione e concentrazione totale in numero di particelle in emissione da inceneritori;
- stima dell'efficienza di abbattimento delle UFPs del filtro a maniche.





# ANALISI SPERIMENTALE: gli impianti

Impianto	Caratteristiche del forno e tipologia di rifiuti inceneriti	Descrizione della sezione di abbattimento fumi
A	Forno: Griglia mobile Combustibile: CDR	<ul style="list-style-type: none"><li>- processo a semisecco;</li><li>- riduzione selettiva non catalitica degli NO<sub>x</sub> (Selective Non-Catalytic Reduction, SNCR);</li><li>- spray absorber con iniezione di latte di calce e carboni attivi;</li><li>- filtro a maniche.</li></ul>
B	Forno: Griglia mobile Combustibile: CDR	<ul style="list-style-type: none"><li>- processo a secco;</li><li>- riduzione selettiva non catalitica (SNCR) degli NO<sub>x</sub>;</li><li>- spray absorber con iniezione di bicarbonato di sodio e carboni attivi;</li><li>- filtro a maniche.</li></ul>
C	Forno: tamburo rotante Combustibile: rifiuto tal quale	<ul style="list-style-type: none"><li>- processo a umido;</li><li>- riduzione selettiva catalitica degli NO<sub>x</sub> (Selective Catalytic Reduction, SCR);</li><li>- filtro a maniche.</li></ul>
D	Forno: griglia mobile Combustibile: rifiuto tal quale	<ul style="list-style-type: none"><li>- doppia filtrazione con due filtri a maniche;</li><li>- iniezione di latte di calce a monte del primo filtro a maniche;</li><li>- iniezione di bicarbonato di sodio e carboni attivi a monte del secondo filtro a maniche;</li><li>- riduzione selettiva catalitica (SCR) degli NO<sub>x</sub>.</li></ul>
Impianto biomassa	Forno: a letto fluido Combustibile: biomassa	<ul style="list-style-type: none"><li>- processo a umido;</li><li>- filtrazione mediante precipitatore elettrostatico.</li></ul>



# ANALISI SPERIMENTALE: la metodologia

- Campagne sperimentali: 2007-2011;
- misure al camino;
- misure a monte del filtro a maniche (impianti A e B).

## Parametri operativi durante le campagne sperimentali



Parametro	Impianto A		Impianto B (2010)		Impianto B (2011)		Impianto C		Impianto D		Impianto a biomasse	
	Media	Dev. standard (%)	Media	Dev. standard (%)	Media	Dev. standard (%)	Media	Dev. standard (%)	Media	Dev. standard (%)	Media	Dev. standard (%)
Portata fumi normalizzata ( $10^3 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$ )	98.3	1.7%	75.8	1.2%	89.6	3.1%	120	2.6%	100	1.6%	150	2.1%
Temperatura al camino ( $^{\circ}\text{C}$ )	135	3.0%	154	1.1%	146	1.4%	150	3.0%	135	2.4%	40	5.2%
Temperatura in camera di combustione ( $^{\circ}\text{C}$ )	991	1.0%	1209	0.9%	1186	1.5%	1000	1.0%	980	1.1%	950	3.8%
Umidità relativa al camino (%)	15.3	6.5%	14.9	6.7%	13.3	6.0%	15	7.3%	13	8.5%	65%	12.5%
$\text{O}_2$ al camino (%)	10.7	2.8%	8.7	1.1%	8.6	2.5%	13	1.5%	10.5	2.9%	12.2	1.8%
$\text{SO}_2$ al camino ( $\text{mg m}^{-3}$ )	8.2	14.6%	5.1	15.7%	7.3	10.8%	5	15.6%	0.5	12.0%	0.5	12.0%
$\text{NO}_x$ al camino ( $\text{mg m}^{-3}$ )	115.0	7.5%	174.8	10.6%	154.5	4.2%	50	11.2%	60.3	11.3%	120	10.7%
$\text{CO}$ al camino ( $\text{mg m}^{-3}$ )	5.2	32.7%	5.5	98.2%	5.5	98.2%	10	27.6%	30.1	29.9%	14	21.3%
Polveri totali al camino ( $\text{mg m}^{-3}$ )	0.68	16.2%	1	0.0%	0.79	6.4%	2	34.5%	0.9	27.8%	2.0	26.3%
$\text{HCl}$ al camino ( $\text{mg m}^{-3}$ )	4.3	7.0%	6.6	16.7%	3.58	13.5%	<1	-	1.1	27.3%	0.6	15.4%

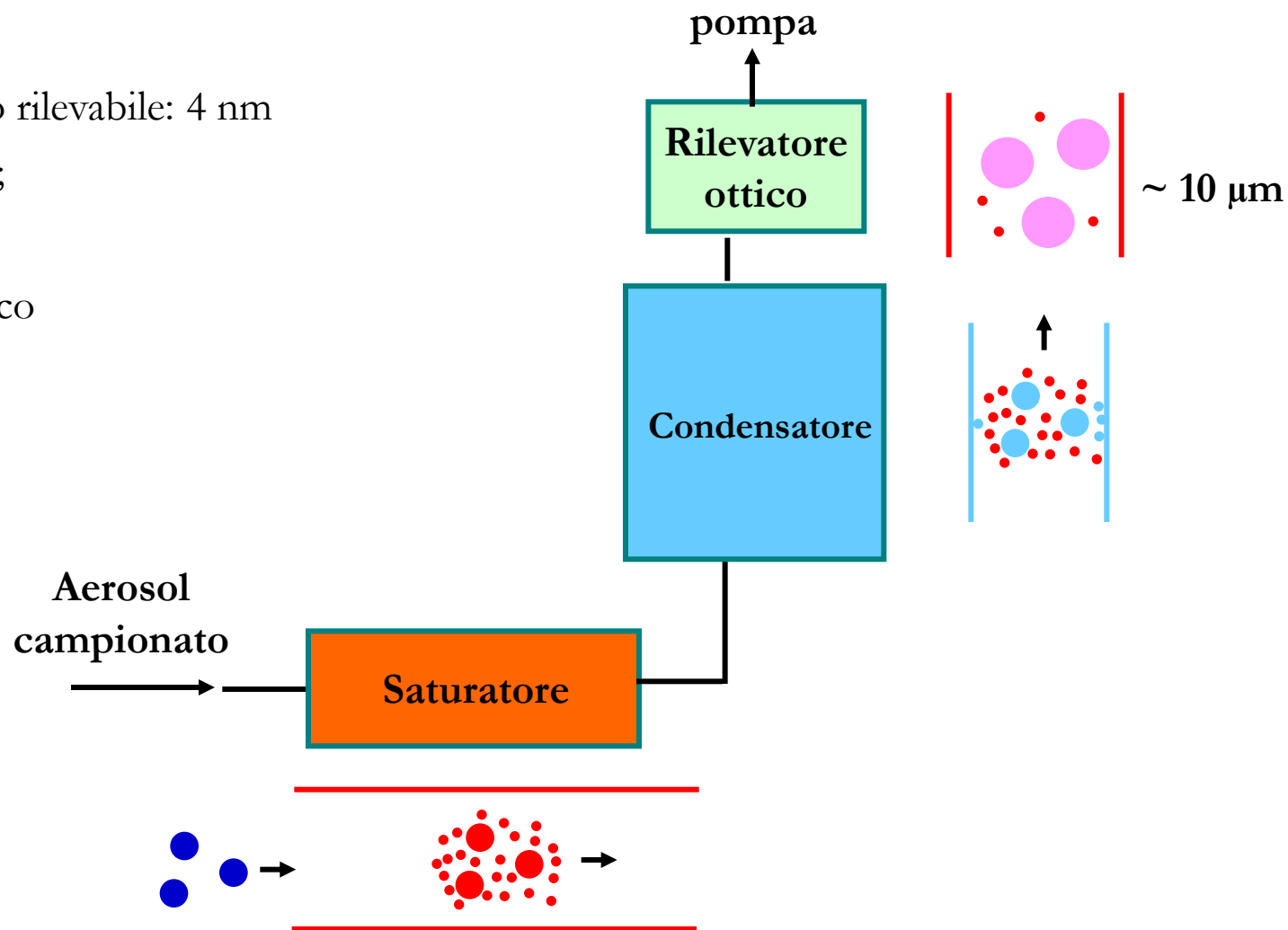


# ANALISI SPERIMENTALE: CPC

## ■ CPC 3775 TSI

Minimo diametro rilevabile: 4 nm

- Saturatore;
- Condensatore;
- Rilevatore ottico



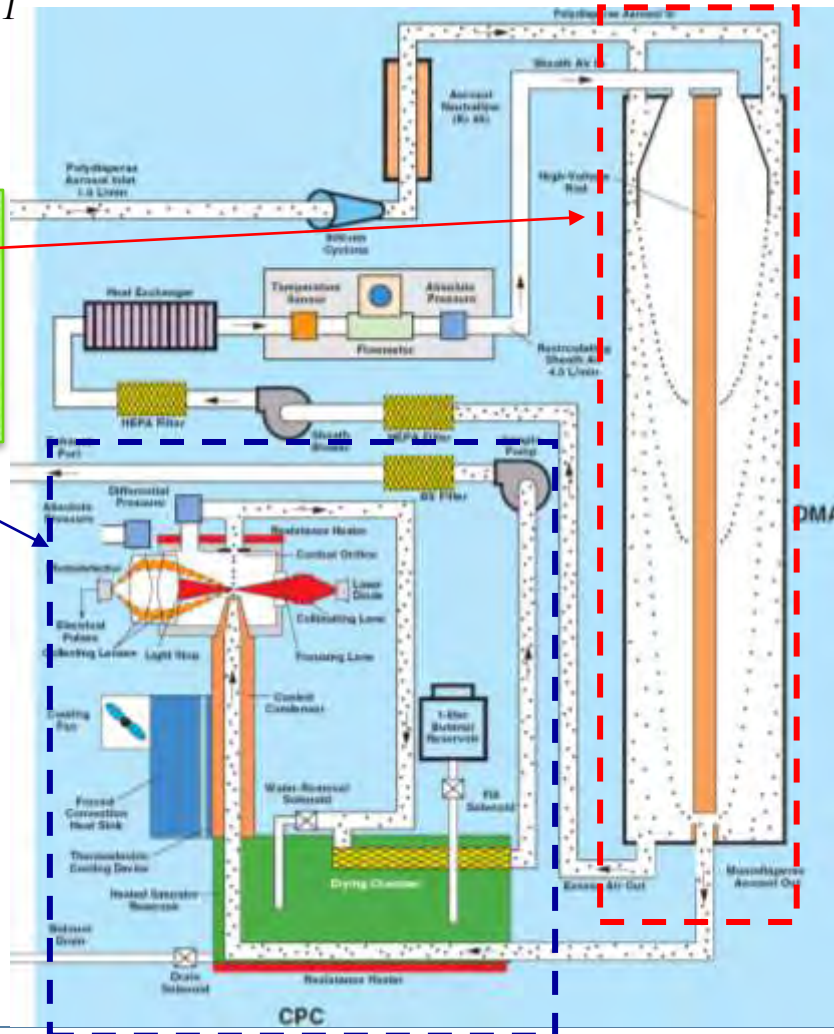
# ANALISI SPERIMENTALE: SMPS

- Scanning Mobility Particle Sizer - SMPS 3936 TSI

Intervallo di misura: 0.006 – 0.9  $\mu\text{m}$

## How it works

L'**Electrostatic Classifier** classifica le particelle secondo il loro *diametro di mobilità elettrica* inviandole poi ad un contatore (**Condensation Particle Counter, CPC**).



Electrostatic Classifier  
EC 3080 TSI



Condensation  
Particle Counter  
CPC 3775 TSI



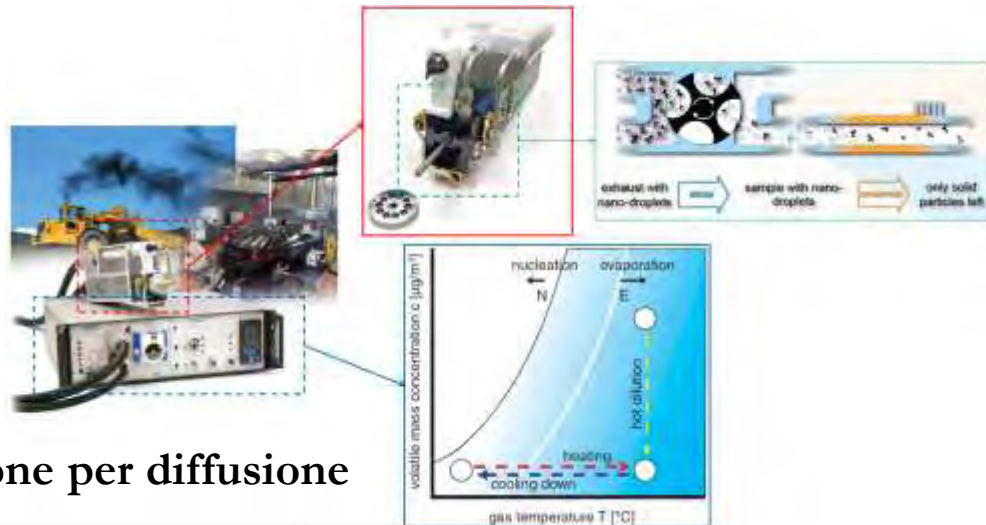
Emissioni di polveri ultrafini da inceneritori

Luca Stabile - l.stabile@unicas.it

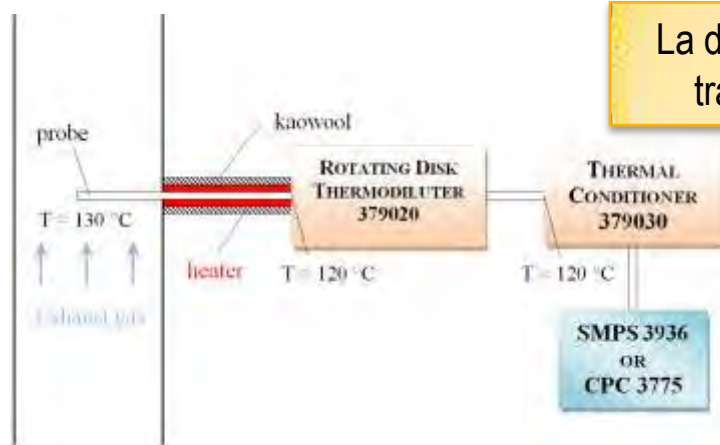
# ANALISI SPERIMENTALE: il campionamento

## Rotating Disk Thermodiluter & Thermal Conditioner (*Matter Engineering*)

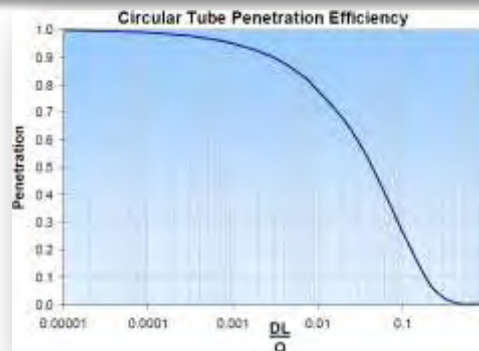
- Condizionamento termico degli esausti gassosi;
- Riduzione dei fenomeni di nucleazione, condensazione e coagulazione.



## La linea di campionamento e la correzione per diffusione



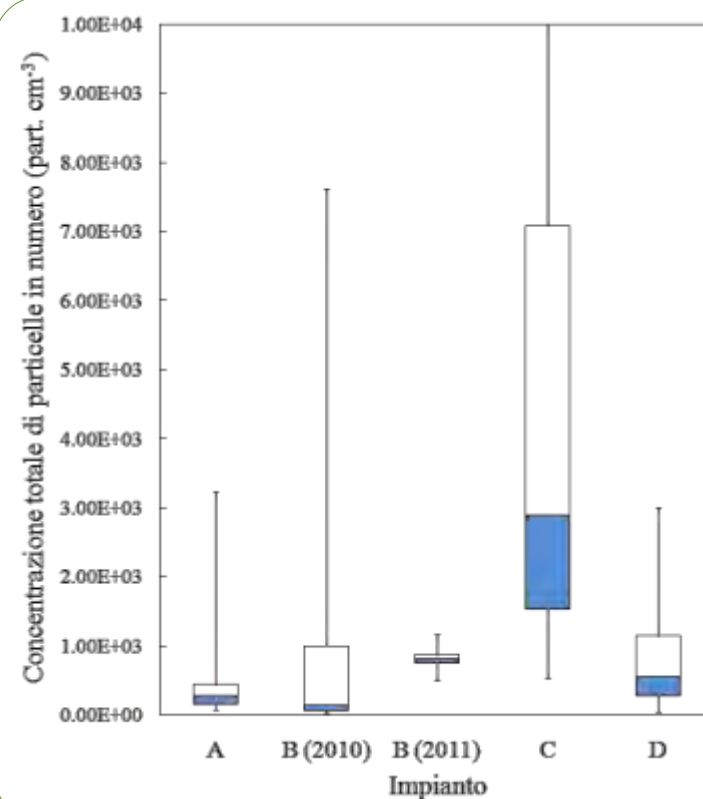
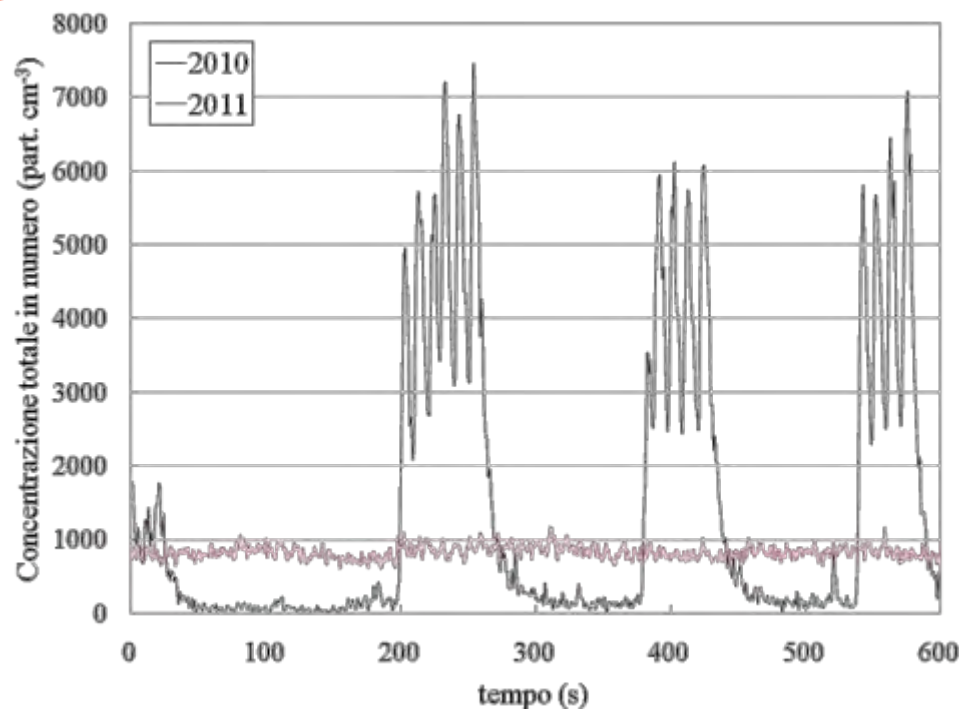
La diffusione è il meccanismo primario di trasporto e deposizione delle UFPs!





# RISULTATI: concentrazioni/1

- Concentrazione totale media in numero di particelle **al camino**:  $0.4 \times 10^3 - 6.0 \times 10^3$  part.  $\text{cm}^{-3}$
- Concentrazione totale massima in numero di particelle **al camino**:  $1.0 \times 10^4$  part.  $\text{cm}^{-3}$



- Concentrazione al camino dell'impianto a biomasse (**filtrazione con ESP**):  $3.0 \times 10^5$  part.  $\text{cm}^{-3}$ .

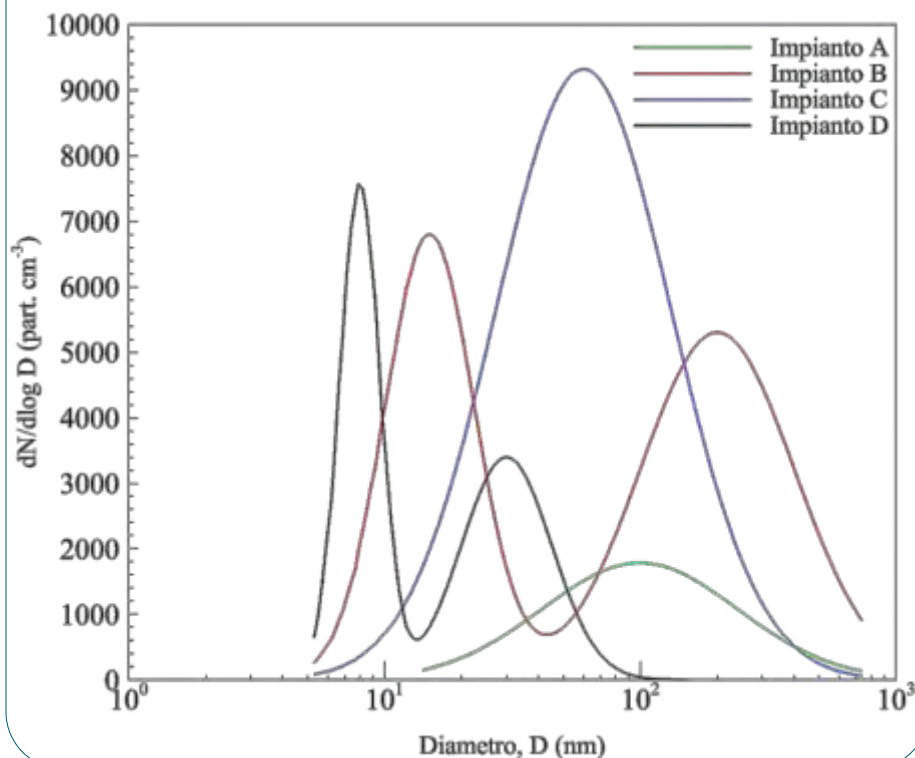




# RISULTATI: distribuzioni

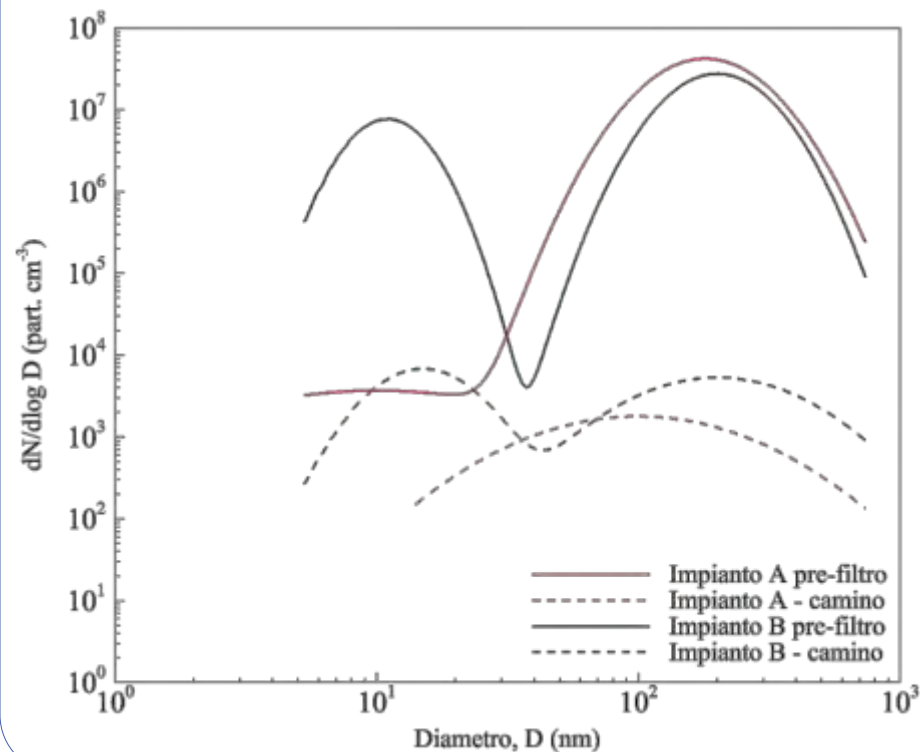
## □ Massime distribuzioni al camino:

- l'impianto D non emette particelle maggiori di 100 nm: effetto della doppia filtrazione?



## □ Distribuzioni al camino e a monte del filtro:

- efficienza di abbattimento delle UFPs maggiore del 99.99%!!!



Emissioni di polveri ultrafini da inceneritori

Luca Stabile - l.stabile@unicas.it



# ANALISI ELEMENTARE: il campionamento

- Campionamento di particelle di diverse dimensioni (50, 100, 150 e 200 nm) al camino dell'Impianto A mediante Nanometer Aerosol Sampler (NAS 3089 TSI Inc.) :
- Analisi elementare delle particelle campionate mediante tecnica nucleare: **attivazione neutronica strumentale (INAA)** in collaborazione con ISPESL (Roma).



La scelta di una tecnica di tipo nucleare si è resa necessaria a causa della dimensione estremamente ridotta del filtro e dell'esigua massa ivi raccolta. La tecnica INAA, infatti, è un metodo analitico che non richiede alcun pre-trattamento chimico del filtro evitando, in tal modo, la possibilità di contaminazione e permettendo la determinazione simultanea di oltre 50 elementi.

*Elementi determinati:*

*Al, As, Cd, Ce, Co, Cr, Cs, Eu, Fe, Hg, Na, Ni, Sb, Sc, Sm, Ta, Th, V, Yb, Zn*

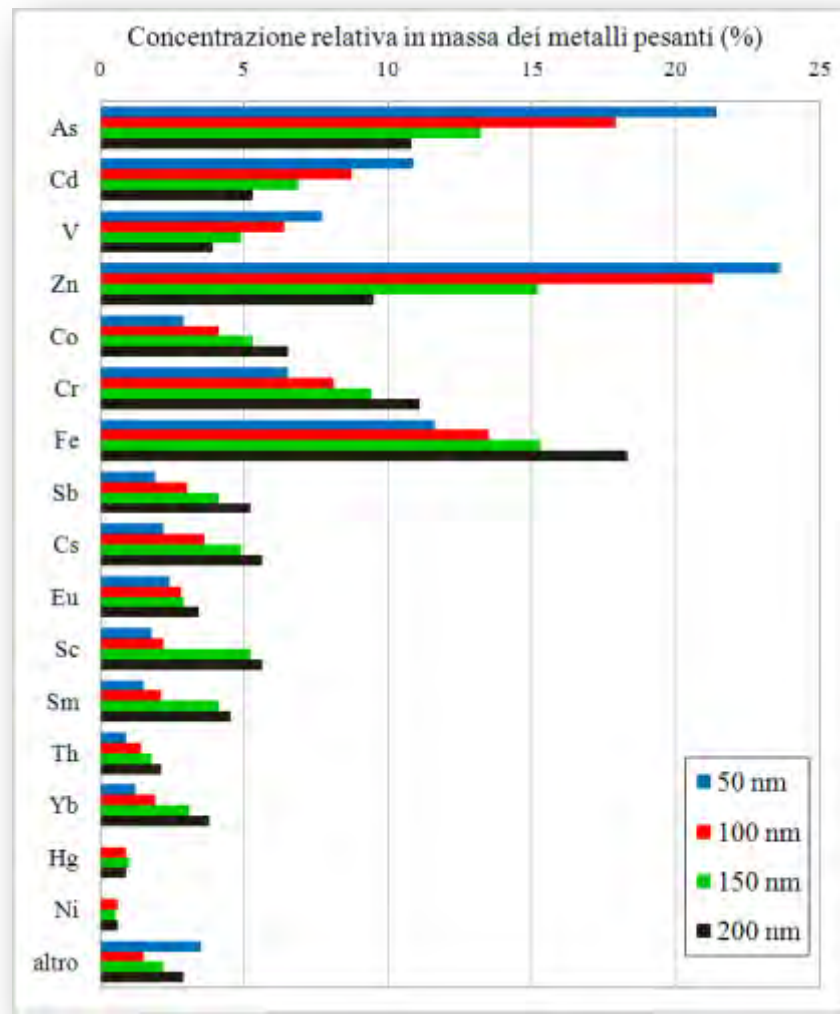


**Nanometer Aerosol Sampler 3089 TSI**



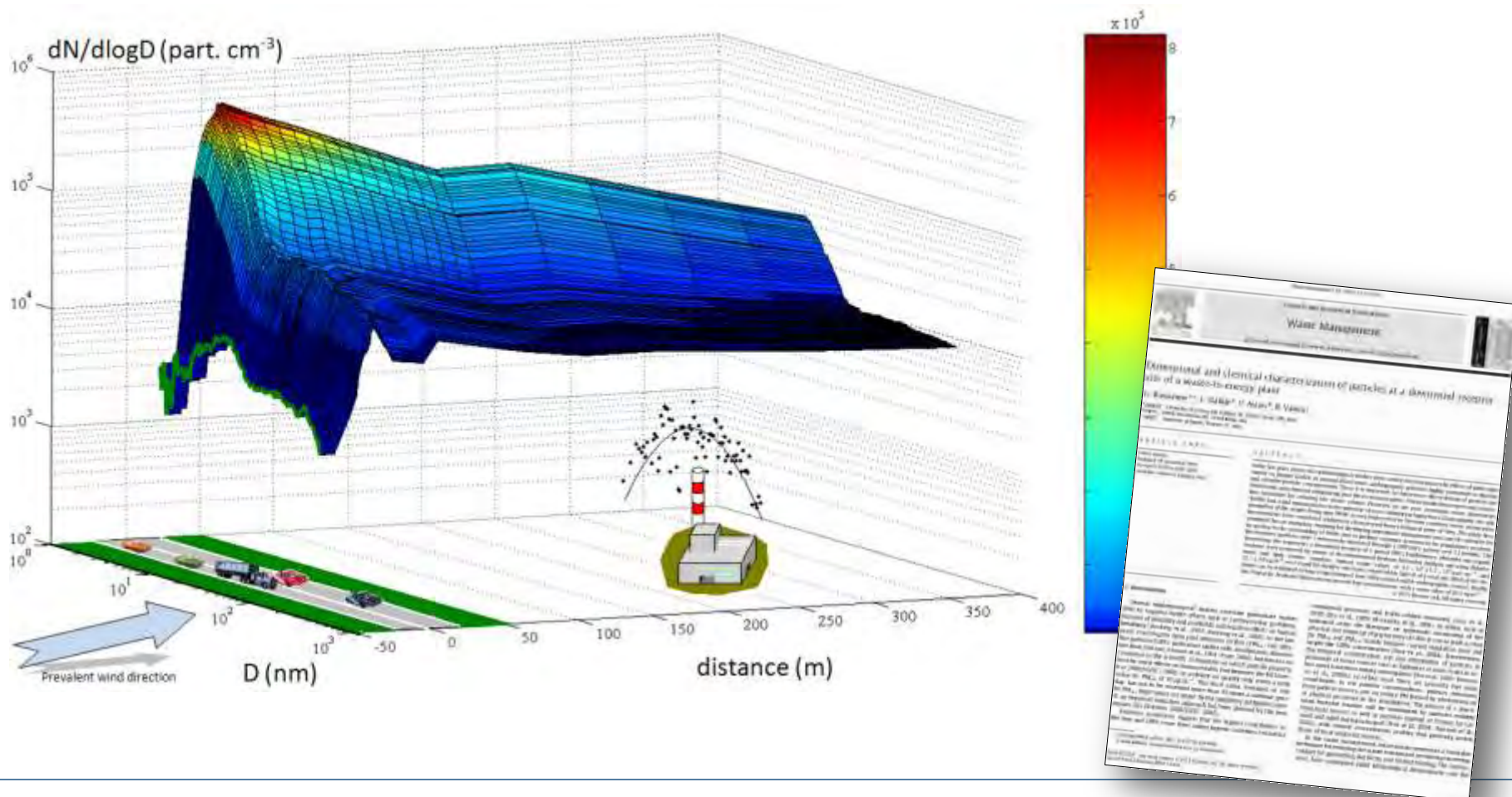
# RISULTATI: concentrazione dei metalli

- L'influenza del punto di ebollizione:
  - il contributo relativo di **As, Cd, V e Zn** sulla concentrazione in massa totale dei metalli diminuisce all'aumentare del diametro della particella campionata (da 50 a 200 nm)  
*(punto di ebollizione inferiore a 1200 °C, ad eccezione del V)*
  - il contributo relativo di **Co, Cr, Fe, Sb, Cs, Sc, Sm, Th, Eu e Yb** sulla concentrazione in massa totale dei metalli aumenta all'aumentare del diametro della particella campionata.  
*(punto di ebollizione superiore a 1200 °C, ad eccezione del Cs)*
- Una possibile spiegazione: la disponibilità di O<sub>2</sub>...
  - elementi con un basso punto di ebollizione evaporano completamente;
  - elementi con un alto punto di ebollizione tendono a rimanere in fase solida.



# RISULTATI: confronto tra sorgenti

Inceneritore (Impianto A) vs. Autostrada (A1)...



Emissioni di polveri ultrafini da inceneritori  
Luca Stabile - l.stabile@unicas.it



# CONCLUSIONI

---

I principali risultati delle campagne sperimentali condotte sono:

- la concentrazione di UFPs in emissione da inceneritori è inferiore a  $1 \cdot 10^4$  part.  $\text{cm}^{-3}$ ;
- l'efficienza di rimozione del filtro, in termini di UFPs, è maggiore del 99.99%;
- la concentrazione di metalli sulle particelle in emissione è funzione della dimensione delle particelle e della temperatura di ebollizione;
- **le emissioni di UFPs da inceneritori sono sensibilmente inferiori ad altre sorgenti antropiche...**

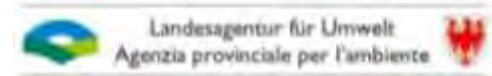
A scenic view of Bolzano, Italy, showing a valley with a town, green hills, and mountains in the background under a blue sky with light clouds.

Workshop

## Incenerimento e qualità dell'aria

Lunedì 24.10.2011

Sala rappresentanza Municipio Bolzano, vicolo Gumer



*Grazie per l'attenzione...*

LUCA STABILE - [l.stabile@unicas.it](mailto:l.stabile@unicas.it)

DiMSAT – Università di Cassino



---

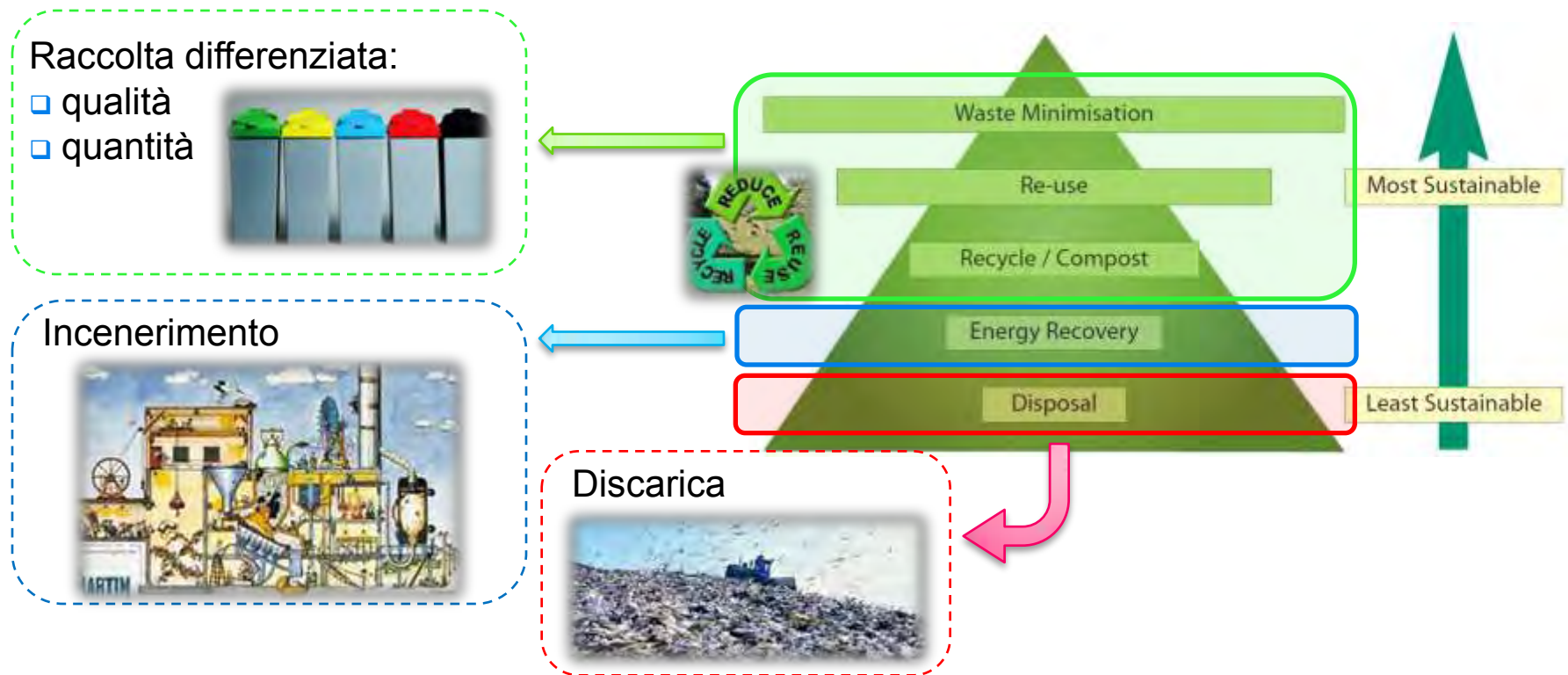
*Extra slides...*

---

# INTRODUZIONE: la gestione dei rifiuti

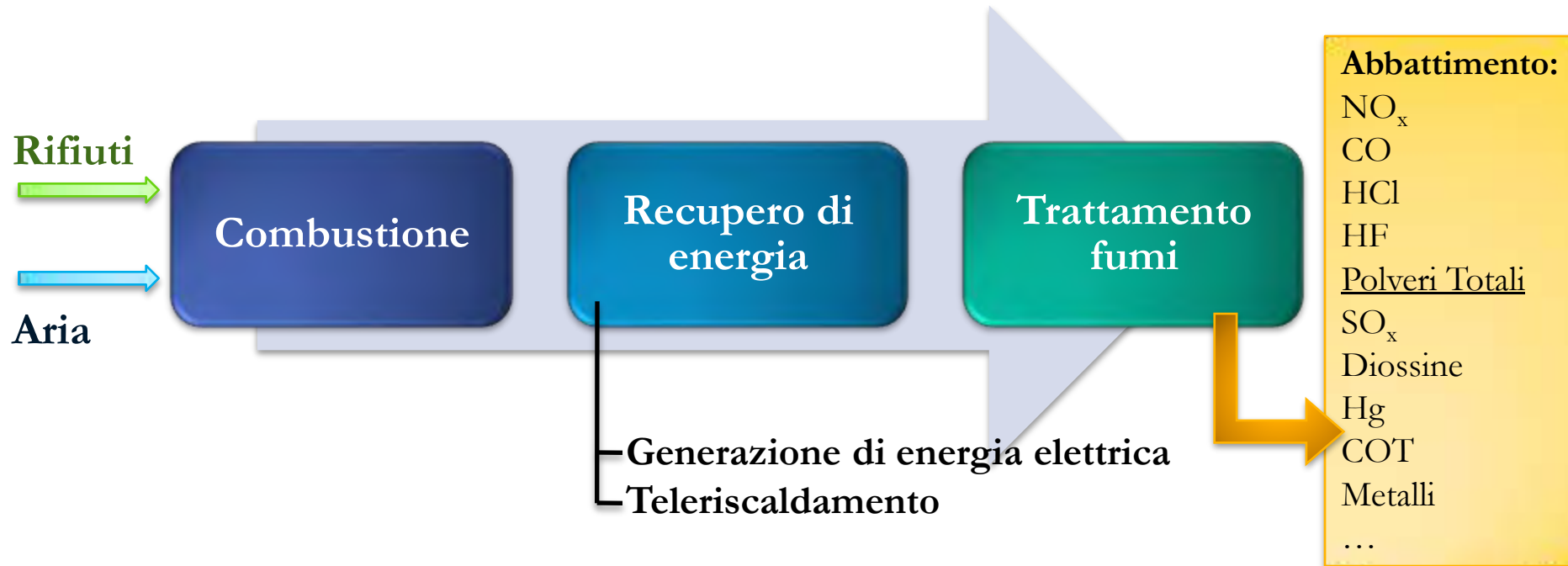
## La gerarchia nella gestione dei rifiuti

- La Direttiva Europea del 1975 (75/442/EEC) ha introdotto per la prima volta il concetto di gerarchia nel trattamento dei rifiuti.
- Nel 2008, il Parlamento Europeo ha definito la “*new five-step waste hierarchy*” (Direttiva 2008/98/EC).





# INTRODUZIONE: l'incenerimento





# ANALISI SPERIMENTALE: la strumentazione

## □ Misure di concentrazione totale in numero di particelle

- Condensation Particle Counter CPC 3775 (TSI Inc.): misura particelle fino a 4 nm in diametro;
- Condensation Particle Counter CPC 5403 (Grimm): misura particelle fino a 4.5 nm in diametro;



**Condensation Particle Counter CPC 3775 TSI**

## □ Misure di distribuzioni dimensionali

- spettrometro Scanning Mobility Particle Sizer SMPS 3936 (TSI Inc.) costituito da un Electrostatic Classifier EC 3080 (TSI Inc.), per la classificazione delle particelle secondo la mobilità elettrica, e da CPC 3775 (TSI Inc.);
- spettrometro costituito da un Electrostatic Classifier “Vienna”-Type DMA 55706 (Grimm), in grado di classificare particelle nel range 5.5-350 nm, e da un CPC 5403.



**Electrostatic Classifier EC 3080 TSI**

## □ Sistema di campionamento e termo-diluizione dell'aerosol

- linea di campionamento riscaldata;
- sistema di termo-diluizione per evitare errori nella misura.



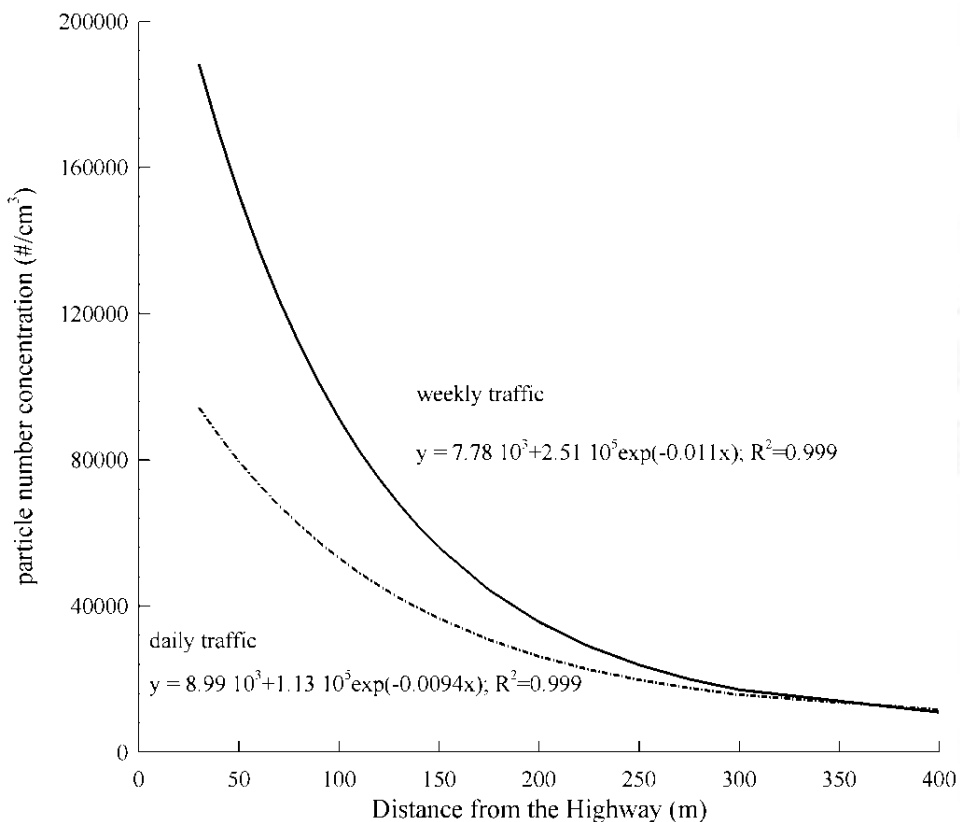
# RISULTATI: concentrazione di metalli

Element	Particle size				Boiling Point ( C)
	50 nm	100 nm	150 nm	200 nm	
Hg	-	0.9	1	0.9	357
As	21.4	17.9	13.2	10.8	603
Cs	2.2	3.6	4.9	5.6	671
Cd	10.9	8.7	6.9	5.3	765
Zn	23.6	21.3	15.2	9.5	907
Yb	1.2	1.9	3.1	3.8	1194
Sb	1.9	3	4.1	5.2	1587
Eu	2.4	2.8	2.9	3.4	1597
Sm	1.5	2.1	4.1	4.5	1791
Cr	6.5	8.1	9.4	11.1	2672
Ni	-	0.6	0.5	0.6	2732
Fe	11.6	13.5	15.3	18.3	2750
Sc	1.8	2.2	5.2	5.6	2831
Co	2.9	4.1	5.3	6.5	2870
V	7.7	6.4	4.9	3.9	3409
Th	0.9	1.4	1.8	2.1	4788

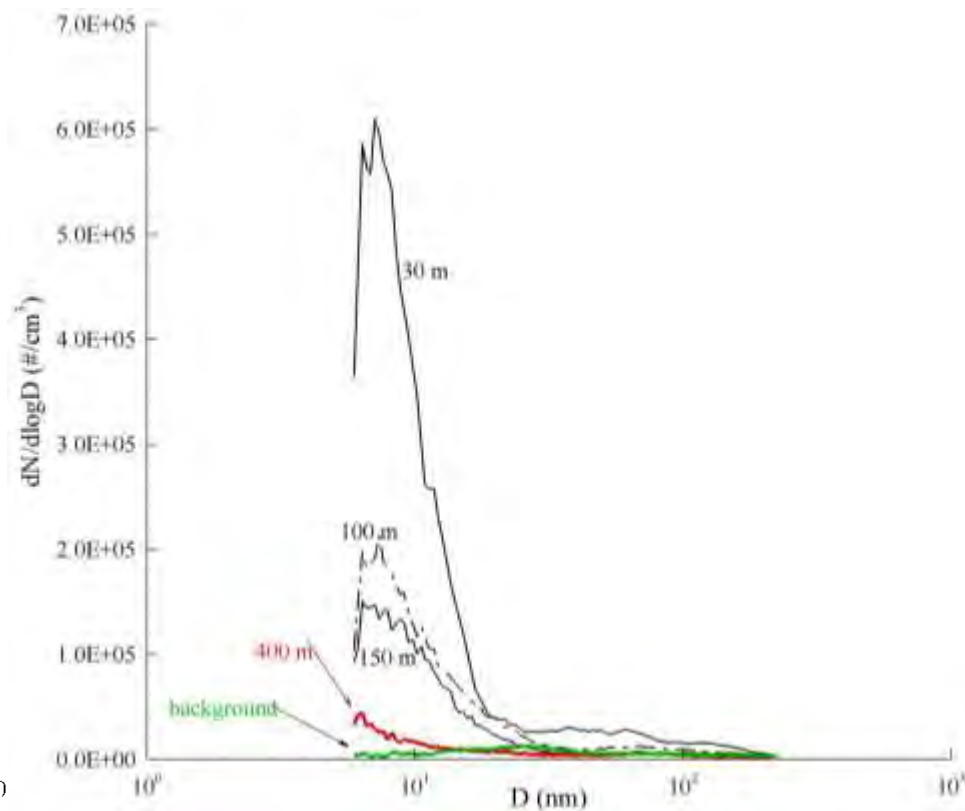


# EMISSIONE DELL'AUTOSTRADA A1

Decadimento della concentrazione in numero



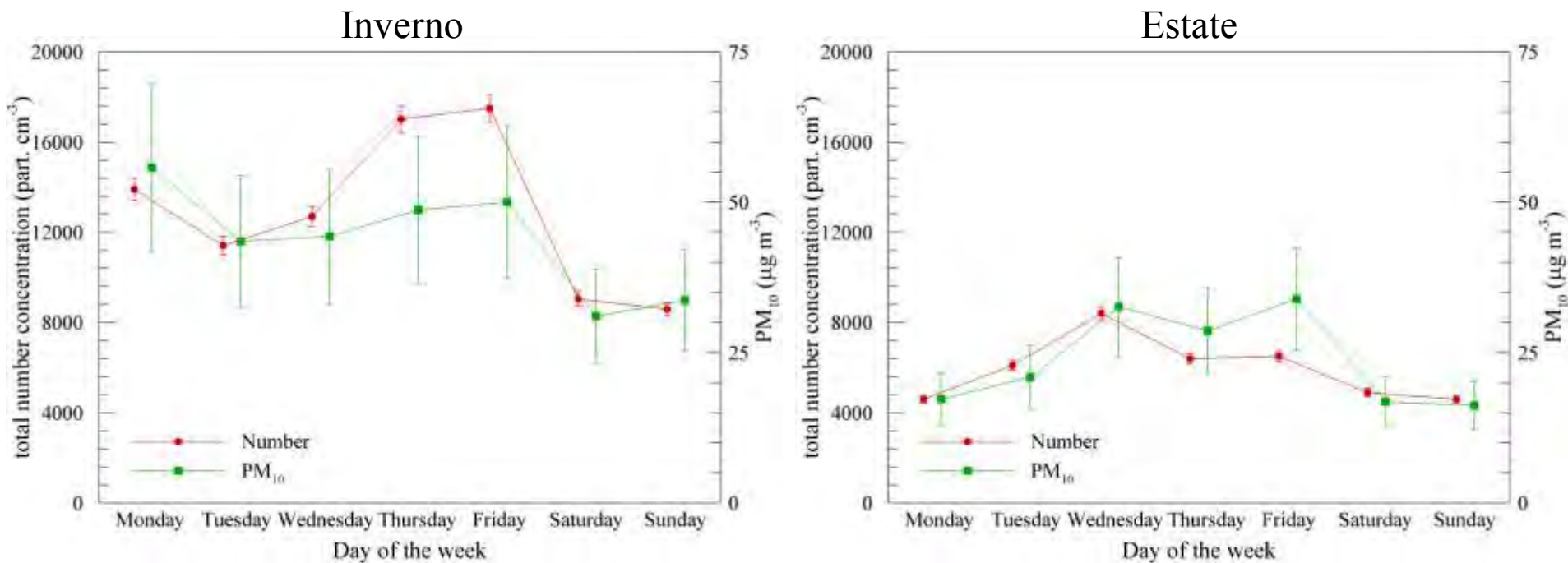
Evoluzione spaziale della distribuzione





# “DOWNWIND RECEPTOR SITE”

- Trend giornaliero:  $PM_{10}$  e concentrazione in numero

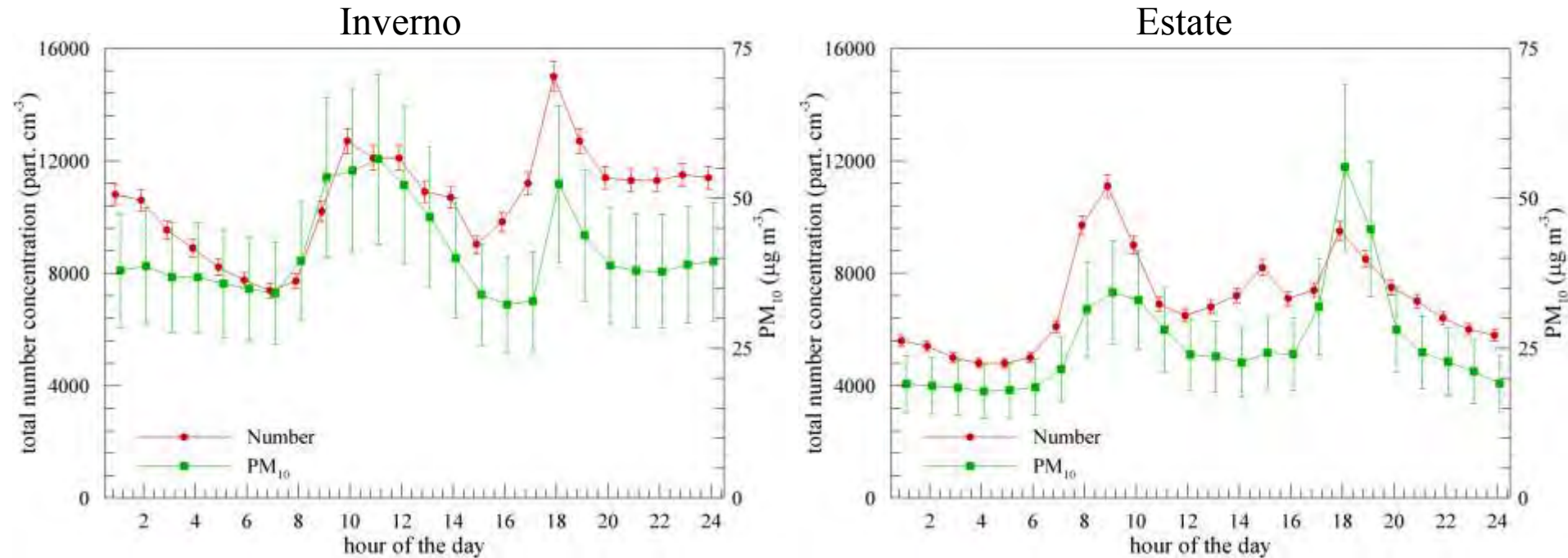


- Comportamento periodico: l'influenza della A1



# “DOWNWIND RECEPTOR SITE”

- Trend orario:  $PM_{10}$  e concentrazione in numero



- Emissione di *fresh particles* nel primo pomeriggio: aerosol secondario?